

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード (参考)
G02B 6/10		G02B 6/10	C 2H038
5/18		5/18	2H049
6/00	306	6/00	2H050
H01S 3/06		H01S 3/06	B 5F072
3/10		3/10	Z
審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全10頁)			

(21) 出願番号 特願平11-226633

(22) 出願日 平成11年8月10日 (1999.8.10)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 榎本 正

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 石川 真二

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

最終頁に続く

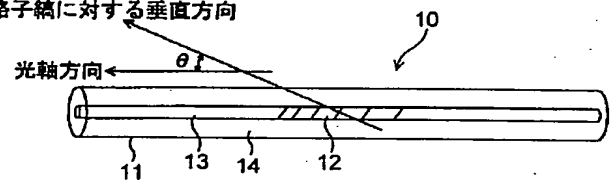
(54) 【発明の名称】 光導波路型フィルタおよび光ファイバ増幅器

(57) 【要約】

【課題】 リップルが解消され遮断特性が優れた光導波路型フィルタ、および、この光導波路型フィルタを用いて利得等化を行う光ファイバ増幅器を提供する。

【解決手段】 光導波路型フィルタ10は、光導波路である光ファイバ11に回折格子12が形成されたものである。光ファイバ11は、シリカガラスをベースとして、 $\text{GeO}_2$ が添加された高屈折率のコア領域13と、このコア領域13を取り囲む低屈折率のクラッド領域14とを有する。回折格子12はコア領域13に形成されている。回折格子12の格子縞に対する垂直方向は光ファイバ11の光軸に対して角度 $\theta$ だけ傾斜している。回折格子12の格子間隔は光ファイバ11の長手方向に変化している。

格子縞に対する垂直方向



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光導波路に形成された回折格子により所定波長の伝搬モード光を反射漏洩モード光に結合することで該伝搬モード光を遮断する光導波路型フィルタであって、前記回折格子が前記光導波路の少なくとも光伝搬領域の一部に形成され、前記回折格子の格子縞に対する垂直方向が前記光導波路の光軸に対して傾斜し、前記回折格子の格子間隔が前記光導波路の長手方向に変化していることを特徴とする光導波路型フィルタ。

【請求項2】 光導波路に形成された回折格子により所定波長の伝搬モード光を反射漏洩モード光に結合することで該伝搬モード光を遮断する光導波路型フィルタであって、前記回折格子が前記光導波路の少なくとも光伝搬領域の一部に形成され、前記回折格子の格子縞に対する垂直方向が前記光導波路の光軸に対して傾斜し、前記回折格子の格子間隔が前記光導波路の長手方向に変化し、その格子間隔の変化率が0.05～3.0nm/mmであることを特徴とする光導波路型フィルタ。

【請求項3】 光導波路に形成された回折格子により所定波長の伝搬モード光を反射漏洩モード光に結合することで該伝搬モード光を遮断する光導波路型フィルタであって、前記回折格子が前記光導波路の少なくとも光伝搬領域の一部に形成され、前記回折格子の格子縞に対する垂直方向が前記光導波路の光軸に対して傾斜し、前記回折格子の格子間隔が前記光導波路の長手方向に変化し、前記光導波路の周囲が屈折率整合材で覆われていることを特徴とする光導波路型フィルタ。

【請求項4】 前記格子間隔の変化率が0.05～3.0nm/mmであることを特徴とする請求項3記載の光導波路型フィルタ。

【請求項5】 請求項1～4に記載の光導波路型フィルタのうち何れか2以上のものが縦続接続されてなることを特徴とする光導波路型フィルタ。

【請求項6】 希土類元素が添加され励起光が供給されているときに入力した信号光を光増幅して出力する増幅用光ファイバと、前記増幅用光ファイバに前記励起光を供給する励起手段と、前記増幅用光ファイバと縦続接続され、前記増幅用光ファイバにおける前記信号光に対する光増幅の利得を等化する請求項1～5の何れか1項に記載の光導波路型フィルタとを備えることを特徴とする光ファイバ増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光導波路に形成された回折格子により所定波長の伝搬モード光を反射漏洩モード光に結合することで該伝搬モード光を遮断する光導波路型フィルタ、および、この光導波路型フィルタを用いて利得等化を行う光ファイバ増幅器に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】光導波路型フィルタは、光ファイバ等の光導波路に回折格子が形成されたものであり、その回折格子の格子間隔に応じた所定波長の伝搬モード光を漏洩モード光に結合し、これにより該伝搬モード光を遮断する光フィルタとして作用する。この光導波路型フィルタは、光ファイバ増幅器における利得等化手段としても用いられる。

【0003】例えば、文献1「A. M. Vengsarkar, et al., J. of Lightwave Tech., Vol.14, No.1, pp.58-64 (1996)」には、格子間隔が数百 $\mu\text{m}$ である長周期の回折格子が形成された光導波路型フィルタの動作原理および作製例について記載されている。この長周期の光導波路型フィルタは、回折格子の格子間隔を $\Lambda$ とし、前進伝搬モード光の伝搬定数を $\beta_1$ とし、前進漏洩モード光の伝搬定数を $\beta_0$ とすると、

$$\beta_1 - \beta_0 = 2\pi/\Lambda \quad \dots(1)$$

なる式で表される位相整合条件を満たす波長の伝搬モード光を遮断する。

【0004】また、文献2「R. Kashyap, et al., Elec tron. Lett., Vol29, No.2, pp.154-156 (1993)」には、回折格子の格子縞に対する垂直方向が光導波路の光軸に対して傾斜している光導波路型フィルタ（以下では「傾斜型光導波路型フィルタ」と言う。）を用いて光ファイバ増幅器における利得等化を実現する技術が記載されている。また、文献3「T. Erdogan, et al., Opt. Lett., Vol.20, No.18, pp.1838-1839 (1995)」には、この傾斜型光導波路型フィルタの特性についての理論的な検討および実験による検証について記載されている。このような傾斜型光導波路型フィルタは、格子間隔がサブ $\mu\text{m}$ ～数 $\mu\text{m}$ 程度である短周期の回折格子が形成されたものであり、この回折格子により、所定波長の前進伝搬モード光を後進漏洩モード光に結合させて遮断する。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】このような光導波路に回折格子が形成され所定波長の伝搬モード光を遮断する光導波路型フィルタは、同一機能を示すエタロン等の他の光フィルタと比較すると、光ファイバとの結合性が優れ挿入損失が低いという長所がある。しかし、光導波路型フィルタは以下に述べるような問題点を有している。

【0006】文献1に記載されたような長周期の回折格子が形成された光導波路型フィルタは、その遮断特性が温度に依存して変動する。すなわち、温度が変動すると、上記(1)式で表される位相整合条件における格子間隔や伝搬定数の値が変動し、これに因り、光導波路型フィルタにより遮断される伝搬モード光の中心波長が変動する。

【0007】また、文献2や文献3に記載されたような傾斜型光導波路型フィルタは、その遮断特性の温度依存性が小さいという長所を有しているものの、遮断率が最大となる遮断波長の周囲に微細な遮断ピークのリップル

が生じ、遮断特性が悪い。すなわち、前進伝搬モード光から後進漏洩モード光への結合だけでなく後進漏洩モード光から前進伝搬モード光への結合も生じることによりファブリペロー共振し、これに因り微細な遮断ピークのリップルが生じる。光導波路型フィルタをマッチングオイルに浸漬したり、光導波路型フィルタの周囲を屈折率整合ポリマで被覆したりすることにより、後進漏洩モード光を光導波路の外部へ放射することができ、このリップルを除去することが理論的には可能である。しかし、高精度の屈折率整合が必要であることから、完全にリップルを除去することは困難である。

【0008】本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、リップルが解消され遮断特性が優れた光導波路型フィルタ、および、この光導波路型フィルタを用いて利得等化を行う光ファイバ増幅器を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明に係る第1の光導波路型フィルタは、光導波路に形成された回折格子により所定波長の伝搬モード光を反射漏洩モード光に結合することで該伝搬モード光を遮断する光導波路型フィルタであって、回折格子が光導波路の少なくとも光伝搬領域の一部に形成され、回折格子の格子縞に対する垂直方向が光導波路の光軸に対して傾斜し、回折格子の格子間隔が光導波路の長手方向に変化していることを特徴とする。この第1の光導波路型フィルタは、光導波路のコア領域を伝搬してきた所定波長の伝搬モード光の一部は、光導波路の光軸に対して格子縞に対する垂直方向が傾斜している回折格子において反射漏洩モード光に変換される。この反射漏洩モード光は、クラッド領域の外周境界面で反射して回折格子に戻ることがあっても、回折格子の格子間隔が光導波路の長手方向に変化しているので、再び伝搬モード光に変換されることはない。すなわち、ファブリペロー共振することなく、透過スペクトルにおけるリップルが小さくなりスムーズなものとなって、遮断特性が優れる。

【0010】本発明に係る第2の光導波路型フィルタは、光導波路に形成された回折格子により所定波長の伝搬モード光を反射漏洩モード光に結合することで該伝搬モード光を遮断する光導波路型フィルタであって、回折格子が光導波路の少なくとも光伝搬領域の一部に形成され、回折格子の格子縞に対する垂直方向が光導波路の光軸に対して傾斜し、回折格子の格子間隔が光導波路の長手方向に変化し、その格子間隔の変化率が $0.05 \sim 3.0 \text{ nm/mm}$ であることを特徴とする。この第2の光導波路型フィルタは、回折格子の格子間隔の変化率が $0.05 \sim 3.0 \text{ nm/mm}$ であることにより、透過スペクトルにおけるリップルが十分に解消されるときに、所定波長における遮断量が大きくなる。なお、格子間隔の変化率とは、光導波路の長手方向の単位長さ (m

m) 当たりの回折格子の格子間隔の変化 (nm) の率である。

【0011】本発明に係る第3の光導波路型フィルタは、光導波路に形成された回折格子により所定波長の伝搬モード光を反射漏洩モード光に結合することで該伝搬モード光を遮断する光導波路型フィルタであって、回折格子が光導波路の少なくとも光伝搬領域の一部に形成され、回折格子の格子縞に対する垂直方向が光導波路の光軸に対して傾斜し、回折格子の格子間隔が光導波路の長手方向に変化し、光導波路の周囲が屈折率整合材で覆われていることを特徴とする。この第3の光導波路型フィルタは、光導波路の周囲が屈折率整合材で覆われていることにより、ファイバ強度の点で好適であり、また、透過スペクトルにおけるリップルが更に解消されスムーズなものとなる。

【0012】本発明に係る第4の光導波路型フィルタは、上記第3の光導波路型フィルタにおいて格子間隔の変化率が $0.05 \sim 3.0 \text{ nm/mm}$ であることを特徴とする。透過スペクトルにおけるリップルが十分に解消されるときに、所定波長における遮断量が大きくなる。

【0013】本発明に係る第5の光導波路型フィルタは、上記第1～第4の光導波路型フィルタのうち何れか2以上のものが縦続接続されてなることを特徴とする。この第5の光導波路型フィルタによれば、上記第1の光導波路型フィルタが奏する作用・効果と略同様の作用・効果を奏する他、所望の透過スペクトルが得られる。

【0014】本発明に係る光ファイバ増幅器は、(1) 希土類元素が添加され励起光が供給されているときに入力した信号光を光増幅して出力する増幅用光ファイバと、(2) 増幅用光ファイバに励起光を供給する励起手段と、(3) 増幅用光ファイバと縦続接続され、増幅用光ファイバにおける信号光に対する光増幅の利得を等化する上記第1～第5の光導波路型フィルタのうち何れかとを備えることを特徴とする。この光ファイバ増幅器によれば、励起手段により増幅用光ファイバに励起光が供給されると、入力した信号光は、増幅用光ファイバにより光増幅され、光導波路型フィルタにより利得等化されて出力される。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。尚、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0016】先ず、本発明に係る光導波路型フィルタの第1の実施形態について説明する。図1は、第1の実施形態に係る光導波路型フィルタ10の説明図である。本実施形態に係る光導波路型フィルタ10は、光導波路である光ファイバ11に回折格子12が形成されたものである。光ファイバ11は、シリカガラスをベースとし

て、 $\text{GeO}_2$ が添加された高屈折率のコア領域13と、このコア領域13を取り囲む低屈折率のクラッド領域14とを有する。回折格子12はコア領域13に形成されている。回折格子12の格子縞に対する垂直方向は光ファイバ11の光軸に対して角度 $\theta$ だけ傾斜している。回折格子12の格子間隔は光ファイバ11の長手方向に変化している。

【0017】この光導波路型フィルタ10では、光ファイバ11のコア領域13を伝搬してきた所定波長の伝搬モード光の一部は、光ファイバ11の光軸に対して格子縞に対する垂直方向が角度 $\theta$ だけ傾斜している回折格子12において漏洩モード光に変換される。この漏洩モード光は、クラッド領域14の外周境界面で反射して回折格子12に戻ることがあるが、回折格子12の格子間隔が光ファイバ11の長手方向に変化しているので、再び伝搬モード光に変換されることはない。すなわち、ファブリペロー共振することはない。

【0018】このように構成される光導波路型フィルタ10は、リップルが除去され遮断特性が優れたものとなる。特に、この回折格子12の格子間隔の変化率は0.05~3.0nm/mmであるのが好適である。また、光ファイバ11の周囲が屈折率整合材で覆われているのも、リップルを除去する上で更に好適である。この屈折率整合材は、例えば、マッチングオイルやポリマなどである。

【0019】屈折率整合剤は、クラッド領域14の最外層の屈折率との差が±1%以下の屈折率を有するものが好適である。すなわち、クラッド領域14外部の屈折率とクラッド領域14の屈折率との差異が大きい場合、その界面においては、屈折率に起因するフレネル反射が存在する。光ファイバ11は、コア領域13を中心に軸対称にフレネル反射面が存在することになる。このような場合、コア領域13と同様クラッド領域14内にもクラッドモードが立つ。このクラッドモードは、クラッド領域14内/外の境界条件により離散的なモードとなる。このような離散的なモードへのコア伝搬光からの結合は、とびとびとなり、したがって、波長に対する損失スペクトルにリップルが立ったような型になる。一方、クラッド領域14外部の屈折率とクラッド領域14の屈折率との差異が小さい場合、上記フレネル反射が充分に小さくなり、したがって、クラッドモードも離散的でなくなり連続的となり、したがって、リップルは無くなり、連続的なスペクトルが得られる。そこで、このリップルを充分に低減して0.3dB以下とする為に、クラッド領域14の周囲を覆う屈折率整合剤の可視光領域での屈折率は、1.459~1.471とすべきであり、このことから、クラッド領域14の最外層の屈折率との差が±1%以下であるのが好適である。

【0020】図2は、第1の実施形態に係る光導波路型フィルタ10の作製方法の説明図である。この図に示す

作製方法は位相格子板30を用いるものである。位相格子板30を介して紫外光が光ファイバ11に照射される。このとき、位相格子板30の格子縞に対する垂直方向は光ファイバ11の光軸に対して傾斜している。また、位相格子板30の格子間隔は上記法線方向に変化している。この光ファイバ11に照射される紫外光は、位相格子板30により生じた±1次回折光が互いに干渉することにより空間的に強度変調されたものである。そして、 $\text{GeO}_2$ が添加されたコア領域13には、照射された紫外光のパワーに応じた屈折率変化が誘起され、回折格子12が形成される。また、本実施形態に係る光導波路型フィルタ10は、二光束干渉法により、すなわち、2分岐された紫外光を所定角度で光ファイバ11で交差させて互いに干渉させることにより、作製することもできる。

【0021】次に、本発明に係る光導波路型フィルタの第2の実施形態について説明する。図3は、第2の実施形態に係る光導波路型フィルタ20の説明図である。本実施形態に係る光導波路型フィルタ20は、光導波路である光ファイバ21に回折格子22が形成されたものである。光ファイバ21は、シリカガラスをベースとして、 $\text{GeO}_2$ が添加された高屈折率のコア領域23と、このコア領域23を取り囲み $\text{GeO}_2$ が添加されたGe添加クラッド領域24Aと、Ge添加クラッド領域24Aを取り囲み $\text{GeO}_2$ が添加されていない低屈折率のGe非添加クラッド領域24Bとを有する。回折格子22はコア領域23およびGe添加クラッド領域24Aの双方の領域に亘って形成されている。Ge添加クラッド領域24Aの径は、コア領域23を伝搬する伝搬モード光のエバネセント波が実質的に存在する領域まであれば充分であり、例えば、コア領域23の外径の数倍程度である。そして、回折格子22の格子縞に対する垂直方向は光ファイバ21の光軸に対して角度 $\theta$ だけ傾斜している。回折格子22の格子間隔は光ファイバ21の長手方向に変化している。

【0022】この光導波路型フィルタ20では、光ファイバ21のコア領域23を伝搬してきた所定波長の伝搬モード光の一部は、光ファイバ21の光軸に対して格子縞に対する垂直方向が角度 $\theta$ だけ傾斜している回折格子22において漏洩モード光に変換される。この漏洩モード光は、Ge非添加クラッド領域24Bの外周境界面で反射して回折格子22に戻ることがあるが、回折格子22の格子間隔が光ファイバ21の長手方向に変化しているので、再び伝搬モード光に変換されることはない。すなわち、ファブリペロー共振することはない。

【0023】このように構成される光導波路型フィルタ20も、リップルが除去され遮断特性が優れたものとなる。特に、本実施形態では、回折格子22が光ファイバ21のコア領域23だけでなくGe添加クラッド領域24Aにも形成されていることにより、所定波長の伝搬モ

10

20

30

40

50

ード光が漏洩モード光に変換される効率が大きくなり、その所定波長における遮断率が大きくなる。また、この回折格子22の格子間隔の変化率は0.05~3.0nm/mmであるのが好適である。また、光ファイバ21の周囲が屈折率整合材で覆われているのも、リップルを除去する上で更に好適である。

【0024】次に、上記第2の実施形態に係る光導波路型フィルタ20の5つの実施例について2つの比較例とともに説明する。

【0025】第1の比較例で用いられた光ファイバは、コア領域のみにGeO<sub>2</sub>が添加されたシングルモード光ファイバであり、クラッド領域に対するコア領域の比屈折率差が0.35%であり、コア領域の径が4μmであった。また、第2の比較例および第1~第5の実施例それぞれで用いられた光ファイバは、コア領域23およびGe添加クラッド領域24AそれぞれにGeO<sub>2</sub>が添加されたシングルモード光ファイバであり、Ge非添加クラッド領域24Bに対するコア領域22の比屈折率差が0.35%であり、コア領域23の径が4μmであり、Ge添加クラッド領域24Aの径がコア領域22の径の3倍であった。

【0026】各光ファイバは、200気圧水素雰囲気下で2週間に亘り水素処理が行われ、その後長手方向の一部の被覆が除去されて位相格子法により回折格子が形成され、屈折率整合ポリマで再被覆された。位相格子法による回折格子の形成の際には、エキシマレーザ光源から出力された波長248nmのレーザ光が屈折率変化を誘起する紫外光として用いられ、照射時間を5分間とした。位相格子板の格子縞に対する垂直方向を光ファイバの光軸に対して角度6度だけ傾斜させ、これにより、回折格子の格子縞に対する垂直方向を光ファイバの光軸に対して角度6度だけ傾斜させた。回折格子長Lは5mmであった。

【0027】第1の比較例および第2の比較例それぞれでは、格子間隔が537nmの一定間隔であった。第1の実施例では、格子間隔が536.925nmから537.075nmまで連続的に変化するものであり、格子間隔の変化率が0.03nm/mmであった。第2の実施例では、格子間隔が536.875nmから537.125nmまで連続的に変化するものであり、格子間隔の変化率が0.05nm/mmであった。第3の実施例では、格子間隔が536.75nmから537.25nmまで連続的に変化するものであり、格子間隔の変化率が0.1nm/mmであった。第4の実施例では、格子間隔が536.5nmから537.5nmまで連続的に変化するものであり、格子間隔の変化率が0.2nm/mmであった。また、第5の実施例では、格子間隔が535.0nmから539.0nmまで連続的に変化するものであり、格子間隔の変化率が0.8nm/mmであった。

【0028】図4は、第1の比較例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。図5は、第2の比較例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。図6は、第1の実施例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。図7は、第2の実施例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。図8は、第3の実施例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。図9は、第4の実施例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。また、図10は、第5の実施例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。図4~図10それぞれにおいて、各図(a)は再被覆前の透過スペクトルを示し、各図(b)は再被覆前の反射スペクトルを示し、各図(c)は再被覆後の透過スペクトルを示す。

【0029】これらのグラフから判るように、第1および第2の比較例それぞれに係る光導波路型フィルタの再被覆前の透過スペクトル(図4(a)、図5(a))は、多数のリップルの集合であり、各リップルは鋭い形状となっている。また、再被覆後の透過スペクトル(図4(c)、図5(c))は、再被覆前の透過スペクトルが平均化されたようなものとなっているが、依然としてリップルが残存している。

【0030】これに対して、第1~第5の実施例それぞれに係る光導波路型フィルタの再被覆前の透過スペクトル(図6~図10の各図(a))は、リップルが小さくなり、スムーズなものが得られた。また、再被覆後の透過スペクトル(図6~図10の各図(c))は、更にリップルが解消され、更にスムーズなものとなった。

【0031】また、図6~図10それぞれを比較すると判るように、本実施例に係る光導波路型フィルタでは、格子間隔の変化量または変化率が小さいと、透過スペクトルにリップルが残る。なお、格子間隔の変化率が0.03nm/mmである第1の実施例では、再被覆後の透過スペクトルは必ずしもリップルの解消が充分ではない(図6(c))。逆に、格子間隔の変化量または変化率が大きいほど、透過スペクトルのリップルが解消されるものの、遮断量が小さくなり、遮断スペクトルがブロード化する。このことから、格子間隔の変化率の好適な範囲があることが判る。以上より、格子間隔の変化率の好適な範囲は0.05~3.0nm/mmであることが判った。

【0032】また、本実施例に係る光導波路型フィルタ

では、第1および第2の比較例に係るものと比較して反射率が小さい。したがって、光アイソレータ等の光部品を付加しなくてもよい。さらに、本実施例に係る光導波路型フィルタでは、透過スペクトルは、伝搬モード光の伝搬方向により大きく変化することがない。

【0033】次に、回折格子の格子縞に対する垂直方向と光ファイバの光軸との間の傾斜角度と、反射特性および透過特性との関係について説明する。図11は、傾斜角度と反射特性および透過特性との関係を示すグラフである。同図(a)は傾斜角度が3度である場合を示し、同図(b)は傾斜角度が6度である場合を示し、同図

(c)は傾斜角度が9度である場合を示し、同図(d)は傾斜角度が11度である場合を示し、また、同図

(e)は傾斜角度が12度である場合を示す。これらは何れも、回折格子長Lが5mmであり、格子間隔が535nmから539nmまで連続的に変化するものである。この図から判るように、同一ファイバであっても傾斜角度を調整することにより、透過スペクトル特性を調整することが可能である。

【0034】次に、本発明に係る光ファイバ増幅器の実施形態について説明する。図12は、本実施形態に係る光ファイバ増幅器1の概略構成図である。光ファイバ増幅器1は、入射端41と出射端42との間に、増幅用光ファイバ43、光カプラ44および光導波路型フィルタ50が設けられ、また、光カプラ44には光ファイバ45を介して励起光源46が接続されている。

【0035】増幅用光ファイバ43は、希土類元素であるEr元素が添加されており、励起光源46から出力された励起光(例えば波長0.98μm)が光ファイバ45および光カプラ44を経て供給される。そして、増幅用光ファイバ43は、入射端41に入力した波長1.55μm帯の信号光を光増幅して出力する。光カプラ44を介して増幅用光ファイバ43と縦続接続された光導波路型フィルタ50は、増幅用光ファイバ43における信号光に対する光増幅の利得を等化して、信号光を出射端42に出力する。光導波路型フィルタ50は、上述した第1または第2の実施形態に係るものであってもよいし、また、複数のものが縦続接続されたものであってもよい。

【0036】図13は、本実施形態に係る光ファイバ増幅器1における光導波路型フィルタ50の説明図である。この光導波路型フィルタ50は、第2の実施形態における光ファイバ21と同様の光ファイバ51に形成されたものであり、光ファイバ51の長手方向についての位相格子板30の長さが25mmであり、格子間隔が1.064μmから1.084μmまで連続的に変化するものである。また、屈折率変化を誘起する紫外光の照射量は、格子間隔1.064μm付近の領域で最も多く、格子間隔1.084μm付近の領域で次に多く、これらの間の領域で少ない。

【0037】図14は、光導波路型フィルタ50の透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。同図(a)は再被覆前の透過スペクトルを示し、同図(b)は再被覆前の反射スペクトルを示し、同図(c)は再被覆後の透過スペクトルを示す。このグラフから判るように、光導波路型フィルタ50の再被覆前の透過スペクトル(図14(a))は、リップルが小さくなり、スムーズなものである。また、再被覆後の透過スペクトル(図14(c))は、更にリップルが解消され、更にスムーズなものとなる。特に、この光導波路型フィルタ50の透過スペクトルでは、遮断ピークが2つあるのが特徴的である。

【0038】図15は、本実施形態に係る光ファイバ増幅器1の利得特性を示すグラフである。この図において、実線は、光導波路型回折格子50を取り除いた場合の利得特性、すなわち、増幅用光ファイバ43の利得特性を示す。また、破線は、光導波路型回折格子50を含む光ファイバ増幅器1の利得特性を示す。図14および図15から判るように、増幅用光ファイバ43の利得特性(図15中の実線)と、光導波路型フィルタ50の透過スペクトルとは、互いに略逆の特性となっている。したがって、増幅用光ファイバ43の利得特性と光導波路型フィルタ50の透過スペクトルとを総合したものである光ファイバ増幅器1の利得特性(図15中の破線)は帯域幅20nm程度に亘って略平坦なものとなり、良好な利得等化がなされている。

【0039】

【発明の効果】以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る光導波路型フィルタによれば、光導波路のコア領域を伝搬してきた所定波長の伝搬モード光の一部は、光導波路の光軸に対して格子縞に対する垂直方向が傾斜している回折格子において反射漏洩モード光に変換される。この反射漏洩モード光は、クラッド領域の外周境界面で反射して回折格子に戻ることがあっても、回折格子の格子間隔が光導波路の長手方向に変化しているため、再び伝搬モード光に変換されることはない。すなわち、ファブリペロー共振することなく、透過スペクトルにおけるリップルが小さくなりスムーズなものとなって、遮断特性が優れる。回折格子が光導波路のコア領域だけでなくクラッド領域にも形成されているため、所定波長の伝搬モード光が漏洩モード光に変換される効率が大きくなり、その所定波長における遮断率が大きくなる。

【0040】また、回折格子の格子間隔の変化率が0.05~3.0nm/mmである光導波路型フィルタによれば、透過スペクトルにおけるリップルが充分に解消されるとともに、所定波長における遮断量が大きくなる。また、光導波路の周囲が屈折率整合材で覆われている光導波路型フィルタによれば、透過スペクトルにおけるリップルが更に解消されスムーズなものとなる。さらに、これらのうち何れか2以上のものが縦続接続されてなる

11

光導波路型フィルタによれば、所望の透過スペクトルが得られる。

【0041】また、本発明に係る光ファイバ増幅器によれば、入力した信号光は、増幅用光ファイバにより光増幅され、本発明に係る光導波路型フィルタにより利得等化されて出力される。したがって、この光ファイバ増幅器の利得特性は広帯域に亘って略平坦なものとなり、良好な利得等化がなされる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係る光導波路型フィルタの説明図である。

【図2】第1の実施形態に係る光導波路型フィルタの作製方法の説明図である。

【図3】第2の実施形態に係る光導波路型フィルタの説明図である。

【図4】第1の比較例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。

【図5】第2の比較例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。

【図6】第1の実施例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。

【図7】第2の実施例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。

【図8】第3の実施例に係る光導波路型フィルタの透過

スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。

【図9】第4の実施例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。

【図10】第5の実施例に係る光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。

【図11】傾斜角度と反射特性および透過特性との関係を示すグラフである。

【図12】本実施形態に係る光ファイバ増幅器の概略構成図である。

【図13】本実施形態に係る光ファイバ増幅器における光導波路型フィルタの説明図である。

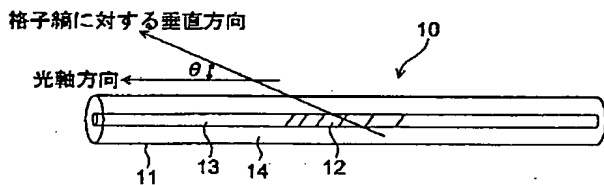
【図14】本実施形態に係る光ファイバ増幅器における光導波路型フィルタの透過スペクトル、反射スペクトルおよび再被覆後の透過スペクトルを示すグラフである。

【図15】本実施形態に係る光ファイバ増幅器の利得特性を示すグラフである。

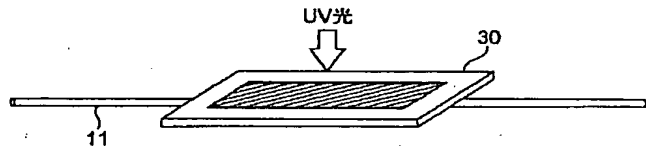
【符号の説明】

10…光導波路型フィルタ、11…光ファイバ、12…回折格子、13…コア領域、14…クラッド領域、20…光導波路型フィルタ、21…光ファイバ、22…回折格子、23…コア領域、24A…Ge添加クラッド領域、24B…Ge非添加クラッド領域、30…位相格子板、41…入射端、42…出射端、43…増幅用光ファイバ、44…光カプラ、45…光ファイバ、46…励起光源、50…光導波路型フィルタ。

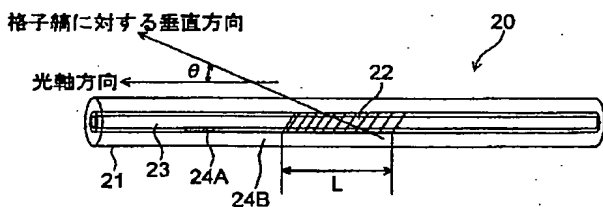
【図1】



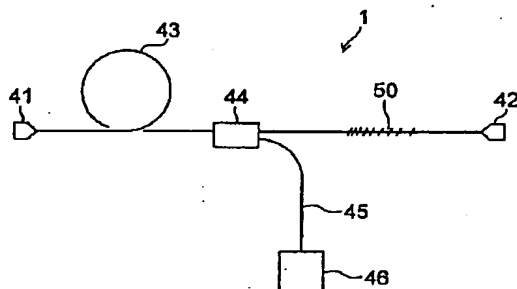
【図2】



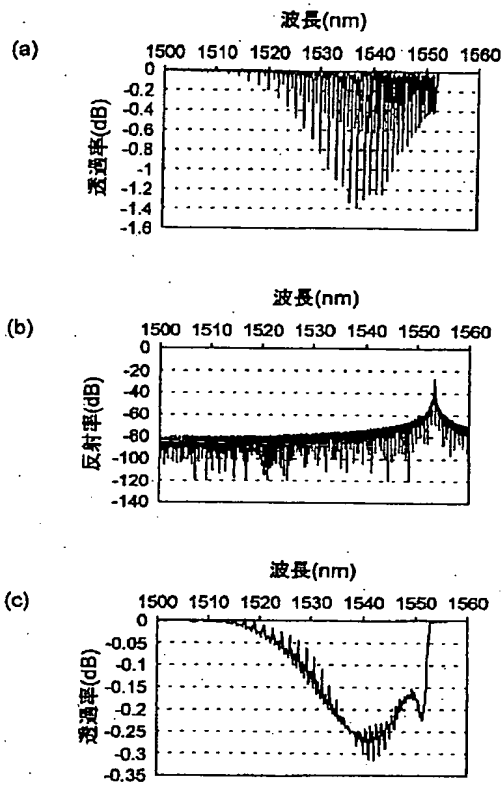
【図3】



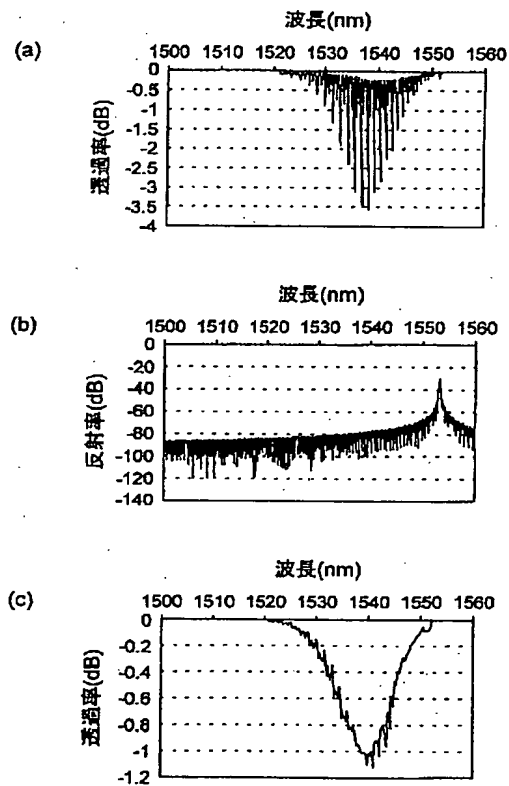
【図12】



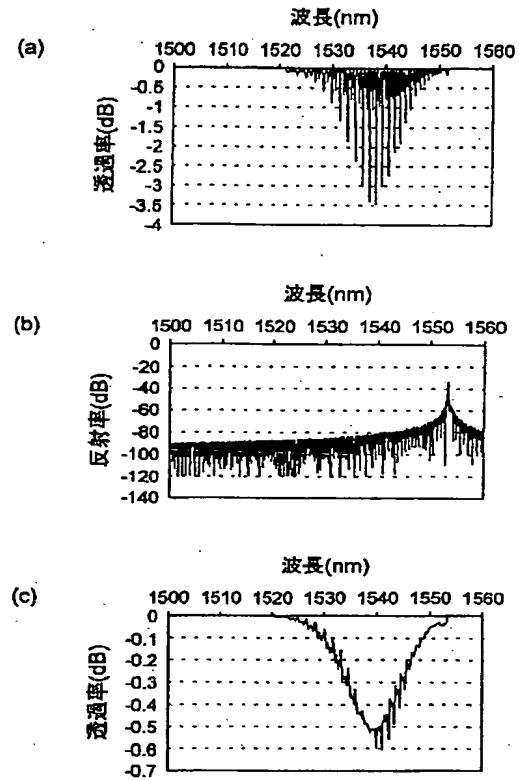
【図 4】



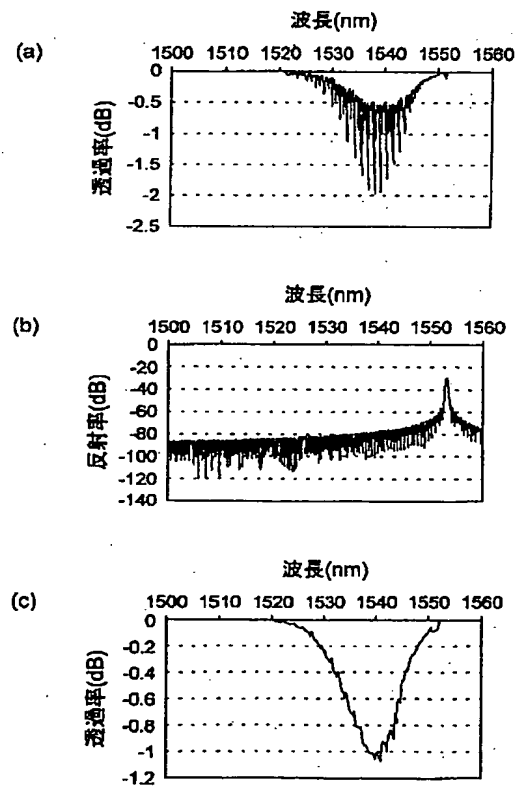
【図 6】



【図 5】

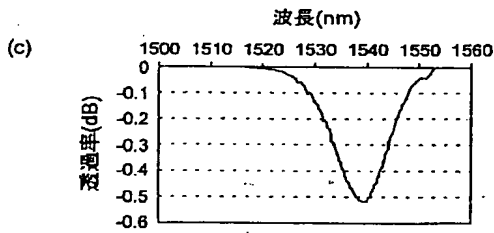
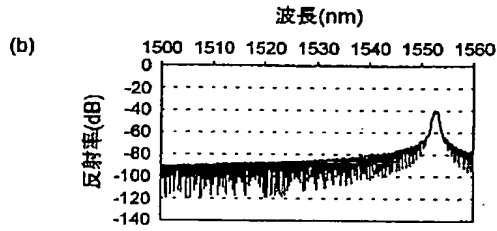
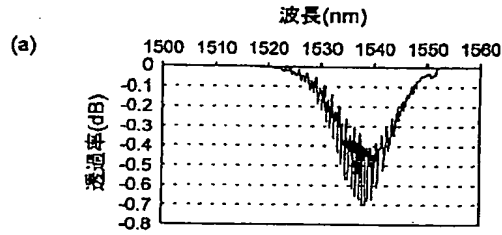


【図 7】

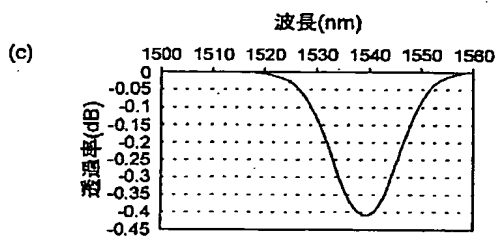
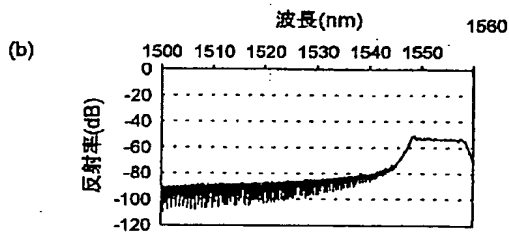
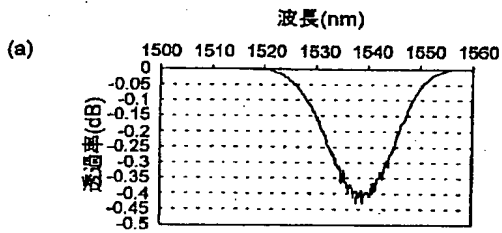




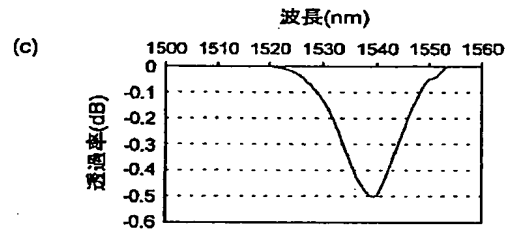
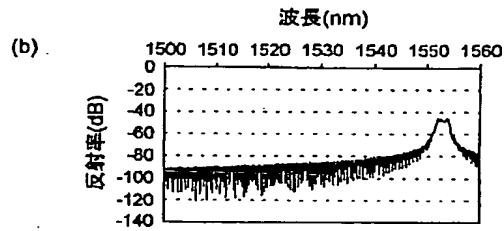
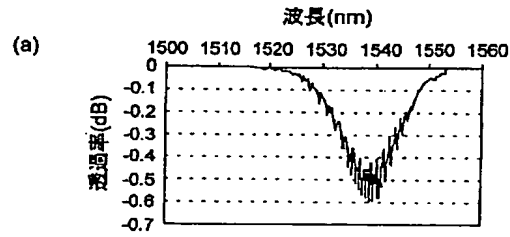
【図8】



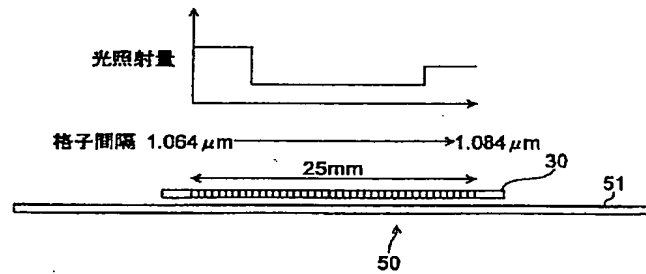
【図10】



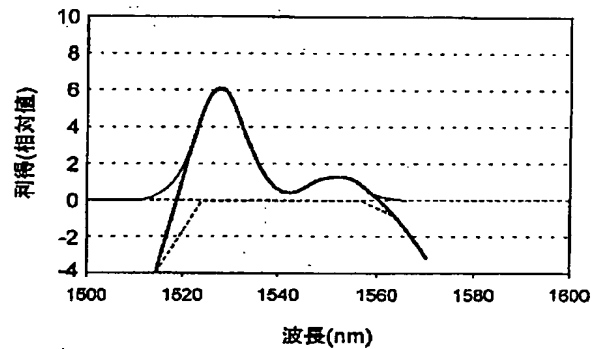
【図9】



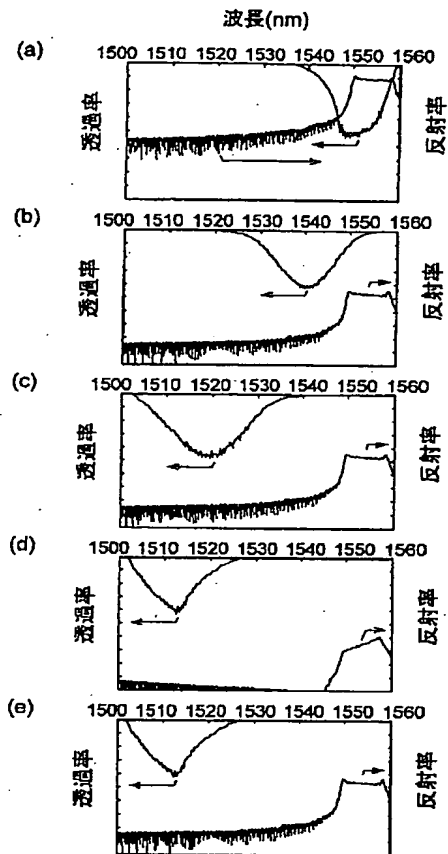
【図13】



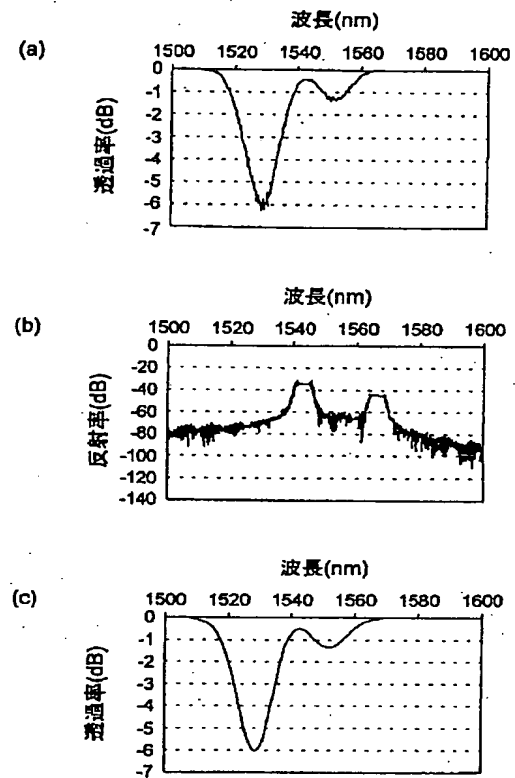
【図15】



【図 11】



【図 14】



フロントページの続き

(72)発明者 茂原 政一  
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 春本 道子  
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社横浜製作所内

Fターム(参考) 2H038 BA25  
 2H049 AA02 AA33 AA59 AA62  
 2H050 AB04Y AB05X AB05Y AC09  
 AC36 AC82 AC84 AD00  
 5F072 AB09 AK06 JJ05 KK07 PP07  
 RR01 YY17

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-051134

(43)Date of publication of application : 23.02.2001

(51)Int.Cl. G02B 6/10  
G02B 5/18  
G02B 6/00  
H01S 3/06  
H01S 3/10

(21)Application number : 11-226633

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 10.08.1999

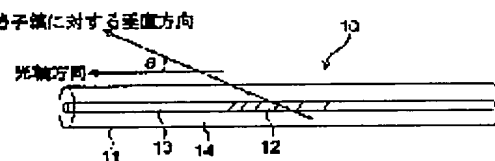
(72)Inventor : ENOMOTO TADASHI  
ISHIKAWA SHINJI  
MOBARA MASAICHI  
HARUMOTO MICHIKO

## (54) OPTICAL WAVEGUIDE TYPE FILTER AND OPTICAL FIBER AMPLIFIER

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical waveguide type filter excellent in a cutoff characteristic, allowing dissolution of ripple.

SOLUTION: In this optical waveguide type filter 10, a grating 12 is formed in an optical fiber 11 that is an optical waveguide. The optical fiber 11 is basically made of silica glass, and has a high-refractive index core area 13 added with GeO<sub>2</sub> and a low-refractive index clad area 14 surrounding the core area 13. The grating 12 is formed in the core area 13. The normal direction to grating stripes of the grating 12 is inclined by an angle  $\theta$  to the optical axis of the optical fiber 11. A grating stripe interval of the grating 12 varies in the longitudinal direction of the optical fiber 11.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the optical fiber amplifier which performs gain identification using the optical waveguide mold filter which intercepts this propagating mode light, and this optical waveguide mold filter by combining the propagating mode light of predetermined wavelength with reflective leaky mode light by the diffraction grating formed in optical waveguide.

[0002]

[Description of the Prior Art] A diffraction grating is formed in optical waveguides, such as an optical fiber, and an optical waveguide mold filter combines the propagating mode light of predetermined wavelength according to the lattice spacing of the diffraction grating with leaky mode light, and acts as an optical filter which intercepts this propagating mode light by this. This optical waveguide mold filter is used also as a gain identification means in optical fiber amplifier.

[0003] For example, the principle of operation and the example of production of the optical waveguide mold filter with which the diffraction grating of the long period whose lattice spacing is hundreds of micrometers was formed are indicated by reference 1 "A.M.Vengsarkar, et al., J.of Lightwave Tech., Vol.14, No.1, and pp.58-64" (1996). The optical waveguide mold filter of this long period is  $\beta - \beta_b = 2\pi/\lambda$ , when the lattice spacing of a diffraction grating is set to  $\lambda$ , the propagation constant of advance propagating mode light is set to  $\beta$  and the propagation constant of advance leaky mode light is set to  $\beta_b$ . The propagating mode light of wavelength which fulfills the phase matching conditions expressed with the formula (1) - 1 Becoming is intercepted.

[0004] Moreover, the technique of realizing gain identification in optical fiber amplifier using the optical waveguide mold filter (henceforth an "inclination mold optical waveguide mold filter") with which the perpendicular direction to the plaid of a diffraction grating inclines to the optical axis of optical waveguide in reference 2 "R.Kashyap, et al., Electron.Lett., Vol.29, No.2, and pp.154-156" (1993) is indicated. Moreover, verification by the theoretical examination and the theoretical experiment about the property of this inclination mold optical waveguide mold filter is indicated by reference 3 "T.Erdogan, et al., Opt.Lett., Vol.20, No.18, and pp.1838-1839" (1995). The diffraction grating of the short period whose lattice spacing is a sub  $\mu\text{m}$  - number  $\mu\text{m}$  grade is formed, and by this diffraction grating, such an inclination mold optical waveguide mold filter combines the advance propagating mode light of predetermined wavelength with go-astern leaky mode light, and is intercepted.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The optical waveguide mold filter which a diffraction grating is formed in such optical waveguide, and intercepts the propagating mode light of predetermined wavelength is excellent in affinity with an optical fiber as compared with other optical filters, such as an etalon in which the same function is shown, and has the advantage in which an insertion loss is low. However, the optical waveguide mold filter has a trouble which is described below.

[0006] As for the optical waveguide mold filter with which the diffraction grating of a long period which was indicated by reference 1 was formed, the barrier property is changed depending on temperature. That is, if temperature is changed, the value of the lattice spacing in the phase

matching conditions expressed with the above-mentioned (1) formula or a propagation constant is changed, it will be based on this and the main wavelength of the propagating mode light intercepted with an optical waveguide mold filter will be changed.

[0007] Moreover, although an inclination mold optical waveguide mold filter which was indicated by reference 2 and reference 3 has the advantage in which the temperature dependence of the barrier property is small, the ripple of a detailed cutoff peak arises around [ to which the rate of cutoff serves as max ] cutoff wave length, and its barrier property is bad. That is, by producing not only association to go-astern leaky mode light from advance propagating mode light but association to advance propagating mode light from go-astern leaky mode light, Fabry-Perot resonance is carried out, it is based on this, and the ripple of a detailed cutoff peak arises. By immersing an optical waveguide mold filter in matching oil, or covering the perimeter of an optical waveguide mold filter with an index matching polymer, go-astern leaky mode light can be emitted to the exterior of optical waveguide, and it is theoretically possible to remove this ripple. However, it is difficult to remove a ripple from highly precise index matching being required completely.

[0008] This invention is made in order to cancel the above-mentioned trouble, and it aims at offering the optical fiber amplifier which performs gain identification using the optical waveguide mold filter in which the ripple was canceled and the barrier property was excellent, and this optical waveguide mold filter.

[0009]

[Means for Solving the Problem] The 1st optical waveguide mold filter concerning this invention is an optical waveguide mold filter which intercepts this propagating mode light by combining the propagating mode light of predetermined wavelength with reflective leaky mode light by the diffraction grating formed in optical waveguide, and it is formed in a part of optical propagation field at least, the perpendicular direction to the plaid of a diffraction grating of optical waveguide inclines [ a diffraction grating ] to the optical axis of optical waveguide, and it is characterized by for the lattice spacing of a diffraction grating to change to the longitudinal direction of optical waveguide. This 1st optical waveguide mold filter is changed into reflective leaky mode light in the diffraction grating toward which the perpendicular direction [ as opposed to / to the optical axis of optical waveguide / plaid in a part of propagating mode light of the predetermined wavelength which has spread the core region of optical waveguide ] inclines. Even if it may reflect in the periphery interface of a clad field and this reflective leaky mode light may return to a diffraction grating, since the lattice spacing of a diffraction grating is changing to the longitudinal direction of optical waveguide, it is not again changed into propagating mode light. That is, Fabry-Perot resonance is not carried out, the ripple in a transparency spectrum becomes small, it will become smooth, and a barrier property is excellent.

[0010] The 2nd optical waveguide mold filter concerning this invention is an optical waveguide mold filter which intercepts this propagating mode light by combining the propagating mode light of predetermined wavelength with reflective leaky mode light by the diffraction grating formed in optical waveguide. It is formed in a part of optical propagation field at least, and the perpendicular direction to the plaid of a diffraction grating of optical waveguide inclines [ a diffraction grating ] to the optical axis of optical waveguide. The lattice spacing of a diffraction grating changes to the longitudinal direction of optical waveguide, and it is characterized by the rate of change of the lattice spacing being 0.05-3.0nm/mm. When the rate of change of the lattice spacing of a diffraction grating is 0.05-3.0nm/mm, while the ripple in a transparency spectrum is fully canceled, as for this 2nd optical waveguide mold filter, the amount of cutoff in predetermined wavelength becomes large. in addition, the rate of change of a lattice spacing -- the unit length (mm) of the longitudinal direction of optical waveguide -- per -- it is the rate of change (nm) of the lattice spacing of a diffraction grating.

[0011] The 3rd optical waveguide mold filter concerning this invention is an optical waveguide mold filter which intercepts this propagating mode light by combining the propagating mode light of predetermined wavelength with reflective leaky mode light by the diffraction grating formed in optical waveguide. It is formed in a part of optical propagation field at least, the perpendicular direction to the plaid of a diffraction grating of optical waveguide inclines [ a diffraction grating ] to the optical axis of optical waveguide, the lattice spacing of a diffraction grating changes to the longitudinal direction of optical waveguide, and it is characterized by covering the perimeter

of optical waveguide by index matching material. By covering the perimeter of optical waveguide by index-matching material, this 3rd optical waveguide mold filter is suitable in respect of fiber reinforcement, and the ripple in a transparency spectrum is canceled further and it will become smooth.

[0012] The 4th optical waveguide mold filter concerning this invention is characterized by the rate of change of a lattice spacing being 0.05–3.0nm/mm in the optical waveguide mold filter of the above 3rd. While the ripple in a transparency spectrum is fully canceled, the amount of cutoff in predetermined wavelength becomes large.

[0013] the 5th optical waveguide mold filter concerning this invention -- above-mentioned the 1- it is characterized by coming to carry out cascade connection of any or the two or more things among the 4th optical waveguide mold filter. According to this 5th optical waveguide mold filter, operation and the effectiveness, and the same operation and effectiveness as abbreviation that the optical waveguide mold filter of the above 1st does so are done so, and also a desired transparency spectrum is obtained.

[0014] The optical fiber amplifier concerning this invention is (1). The optical fiber for magnification which carries out optical amplification of the signal light inputted when rare earth elements were added and excitation light was supplied, and outputs it, (2) -- an excitation means to supply excitation light to the optical fiber for magnification, and (3) above-mentioned the 1- which cascade connection is carried out to the optical fiber for magnification, and equalizes the gain of the optical amplification to the signal light in the optical fiber for magnification -- it is characterized by having any they are among the 5th optical waveguide mold filter. If excitation light is supplied to the optical fiber for magnification by the excitation means according to this optical fiber amplifier, optical amplification of the inputted signal light will be carried out with the optical fiber for magnification, and gain identification will be carried out with an optical waveguide mold filter, and it will be outputted.

[0015]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained to a detail with reference to an accompanying drawing. In addition, in explanation of a drawing, the same sign is given to the same element, and the overlapping explanation is omitted.

[0016] First, the 1st operation gestalt of the optical waveguide mold filter concerning this invention is explained. Drawing 1 is the explanatory view of the optical waveguide mold filter 10 concerning the 1st operation gestalt. A diffraction grating 12 is formed in the optical fiber 11 whose optical waveguide mold filter 10 concerning this operation gestalt is optical waveguide. An optical fiber 11 has the core region 13 of a high refractive index by which GeO<sub>2</sub> was added, and the clad field 14 of a low refractive index which encloses this core region 13 by using silica glass as the base. The diffraction grating 12 is formed in the core region 13. As for the perpendicular direction to the plaid of a diffraction grating 12, only the include angle theta inclines to the optical axis of an optical fiber 11. The lattice spacing of a diffraction grating 12 is changing to the longitudinal direction of an optical fiber 11.

[0017] With this optical waveguide mold filter 10, a part of propagating mode light of the predetermined wavelength which has spread the core region 13 of an optical fiber 11 is changed into leaky mode light in the diffraction grating 12 toward which the perpendicular direction to plaid inclines only in the include angle theta to the optical axis of an optical fiber 11. Although it may reflect in the periphery interface of the clad field 14 and this leaky mode light may return to a diffraction grating 12, since the lattice spacing of a diffraction grating 12 is changing to the longitudinal direction of an optical fiber 11, it is not again changed into propagating mode light. That is, Fabry-Perot resonance is not carried out.

[0018] Thus, the optical waveguide mold filter 10 constituted becomes that in which the ripple was removed and the barrier property was excellent. It is suitable for especially the rate of change of the lattice spacing of this diffraction grating 12 that it is 0.05–3.0nm/mm. Moreover, it is also still more suitable that the perimeter of an optical fiber 11 is covered by index matching material when removing a ripple. This index-matching material is for example, matching oil, a polymer, etc.

[0019] That in which a difference with the refractive index of the outermost layer of the clad field 14 has \*\*1% or less of refractive index is suitable for an index matching agent. That is, when the difference between the refractive index of the clad field 14 exterior and the refractive index of the clad field 14 is large, in the interface, the Fresnel reflection resulting from a

refractive index exists. As for an optical fiber 11, a Fresnel reflection side will exist in axial symmetry focusing on a core region 13. In such a case, clad mode stands in the clad field 14 as well as a core region 13. This clad mode turns into the discrete mode according to the boundary condition of the inside of the clad field 14 / outside. Association from the core propagation light to such the discrete mode becomes the mold by which becomes discontinuous, therefore the ripple was located on the loss spectrum to wavelength. On the other hand, when the difference between the refractive index of the clad field 14 exterior and the refractive index of the clad field 14 is small, the above-mentioned Fresnel reflection becomes small enough, therefore clad mode also becomes less discrete, and becomes continuous, therefore a ripple is lost, and a continuous spectrum is obtained. Then, since this ripple is fully reduced and it is referred to as 0.3dB or less, the refractive index in the light field of a wrap index matching agent should make the perimeter of the clad field 14 1.459–1.471, and it is suitable that a difference with the refractive index of the outermost layer of this to the clad field 14 is  $\pm 1\%$  or less.

[0020] Drawing 2 is the explanatory view of the production approach of the optical waveguide mold filter 10 concerning the 1st operation gestalt. The production approach shown in this drawing uses the phase grating plate 30. Ultraviolet radiation is irradiated by the optical fiber 11 through the phase grating plate 30. At this time, the perpendicular direction to the plaid of the phase grating plate 30 inclines to the optical axis of an optical fiber 11. Moreover, the lattice spacing of the phase grating plate 30 is changing in the above-mentioned normal direction. When the primary [\*\*] diffracted light produced with the phase grating plate 30 interferes mutually, intensity modulation of the ultraviolet radiation irradiated by this optical fiber 11 is carried out spatially. And induction of the refractive-index change according to the power of the irradiated ultraviolet radiation is carried out to the core region 13 by which GeO<sub>2</sub> was added, and a diffraction grating 12 is formed in it. Moreover, the optical waveguide mold filter 10 concerning this operation gestalt is also producible double beam interferometry, i.e., by making the dichotomous ultraviolet radiation cross with an optical fiber 11, and making it interfere mutually at a predetermined include angle.

[0021] Next, the 2nd operation gestalt of the optical waveguide mold filter concerning this invention is explained. Drawing 3 is the explanatory view of the optical waveguide mold filter 20 concerning the 2nd operation gestalt. A diffraction grating 22 is formed in the optical fiber 21 whose optical waveguide mold filter 20 concerning this operation gestalt is optical waveguide. By using silica glass as the base, an optical fiber 21 encloses the core region 23 of a high refractive index by which GeO<sub>2</sub> was added, germanium addition clad field 24A which encloses this core region 23 and by which GeO<sub>2</sub> was added, and germanium addition clad field 24A, and has germanium non-adding clad field 24B of a low refractive index by which GeO<sub>2</sub> is not added. The diffraction grating 22 is continued and formed in the field of the both sides of a core region 23 and germanium addition clad field 24A. If the path of germanium addition clad field 24A has the evanescent wave of the propagating mode light which spreads a core region 23 to the field which exists substantially, it will be enough, for example, will be about several times the outer diameter of a core region 23. And as for the perpendicular direction to the plaid of a diffraction grating 22, only the include angle  $\theta$  inclines to the optical axis of an optical fiber 21. The lattice spacing of a diffraction grating 22 is changing to the longitudinal direction of an optical fiber 21.

[0022] With this optical waveguide mold filter 20, a part of propagating mode light of the predetermined wavelength which has spread the core region 23 of an optical fiber 21 is changed into leaky mode light in the diffraction grating 22 toward which the perpendicular direction to plaid inclines only in the include angle  $\theta$  to the optical axis of an optical fiber 21. Although it may reflect in the periphery interface of germanium non-adding clad field 24B and this leaky mode light may return to a diffraction grating 22, since the lattice spacing of a diffraction grating 22 is changing to the longitudinal direction of an optical fiber 21, it is not again changed into propagating mode light. That is, Fabry-Perot resonance is not carried out.

[0023] Thus, the optical waveguide mold filter 20 constituted also becomes that in which the ripple was removed and the barrier property was excellent. Especially, with this operation gestalt, by forming the diffraction grating 22 not only in the core region 23 of an optical fiber 21 but in germanium addition clad field 24A, the effectiveness from which the propagating mode light of predetermined wavelength is changed into leaky mode light becomes large, and the rate



of cutoff in the predetermined wavelength becomes large. Moreover, it is suitable for the rate of change of the lattice spacing of this diffraction grating 22 that it is 0.05–3.0nm/mm. Moreover, it is also still more suitable that the perimeter of an optical fiber 20 covered by index matching material when removing a ripple.

[0024] Next, five examples of the optical waveguide mold filter 20 concerning the operation gestalt of the above 2nd are explained with two examples of a comparison.

[0025] It was the single mode optical fiber by which, as for the optical fiber used in the 1st example of a comparison, GeO<sub>2</sub> was added by only the core region, and the relative index difference of the core region to a clad field was 0.35%, and the path of a core region was 4 micrometers. moreover, the optical fiber used in the 2nd example of a comparison, and each the 1st – 5th example -- a core region 23 and germanium addition clad field 24A -- it was the single mode optical fiber which is boiled, respectively and by which GeO<sub>2</sub> was added, and the relative index difference of the core region 22 to germanium non-adding clad field 24B was 0.35%, the path of a core region 23 was 4 micrometers, and the path of germanium addition clad field 24A was 3 times the path of a core region 22.

[0026] Hydrogen processing was performed for two weeks under the 200 atmospheric-pressure hydrogen ambient atmosphere, covering of a part of longitudinal direction was removed after that, the diffraction grating was formed by the phase grating method, and each optical fiber was re-covered with the index matching polymer. On the occasion of formation of the diffraction grating by the phase grating method, the laser beam with a wavelength of 248nm outputted from the excimer laser was used as ultraviolet radiation which carries out induction of the refractive-index change, and set irradiation time as for 5 minutes at it. Only six include angles made the perpendicular direction to the plaid of a phase grating plate incline to the optical axis of an optical fiber, and, thereby, only six include angles made the perpendicular direction to the plaid of a diffraction grating incline to the optical axis of an optical fiber. The diffraction-grating length L was 5mm.

[0027] In the 1st example of a comparison, and each 2nd example of a comparison, the lattice spacing was fixed spacing which is 537nm. In the 1st example, a lattice spacing changes continuously from 536.925nm to 537.075nm, and the rate of change of a lattice spacing was 0.03nm/mm. In the 2nd example, a lattice spacing changes continuously from 536.875nm to 537.125nm, and the rate of change of a lattice spacing was 0.05nm/mm. In the 3rd example, a lattice spacing changes continuously from 536.75nm to 537.25nm, and the rate of change of a lattice spacing was 0.1nm/mm. In the 4th example, a lattice spacing changes continuously from 536.5nm to 537.5nm, and the rate of change of a lattice spacing was 0.2nm/mm. Moreover, in the 5th example, a lattice spacing changes continuously from 535.0nm to 539.0nm, and the rate of change of a lattice spacing was 0.8nm/mm.

[0028] Drawing 4 is a graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 1st example of a comparison, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering. Drawing 5 is a graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 2nd example of a comparison, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering. Drawing 6 is a graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 1st example, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering. Drawing 7 is a graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 2nd example, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering. Drawing 8 is a graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 3rd example, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering. Drawing 9 is a graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 4th example, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering. Moreover, drawing 10 is a graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 5th example, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering. In drawing 4 – each drawing 10, each drawing (a) shows the transparency spectrum before re-covering, each drawing (b) shows the reflectance spectrum before re-covering, and each drawing (c) shows the transparency spectrum after re-covering.

[0029] The transparency spectrum before re-covering of the optical waveguide mold filter concerning each 1st and 2nd examples of a comparison ( drawing 4 (a), drawing 5 (a)) is the set

of many ripples, and each ripple serves as a sharp configuration so that these graphs may show. Moreover, although the transparency spectrum after re-covering ( drawing 4 (c), drawing 5 (c) ) is that by which the transparency spectrum before re-covering was equalized, the ripple still remains.

[0030] On the other hand, the ripple became small and, as for the transparency spectrum before re-covering of the optical waveguide mold filter concerning the 1st – each 5th example (each drawing of drawing 6 – drawing 10 (a)), the smooth thing was obtained. Moreover, the ripple was canceled further and the transparency spectrum after re-covering (each drawing of drawing 6 – drawing 10 (c)) became still more smooth.

[0031] Moreover, with the optical waveguide mold filter concerning this example, if the variation or the rate of change of a lattice spacing is small, a ripple will remain in a transparency spectrum, so that it may turn out that drawing 6 – each drawing 10 are compared. In addition, the 1st example of the transparency spectrum after re-covering whose rate of change of a lattice spacing is 0.03nm/mm is not necessarily enough as the dissolution of a ripple ( drawing 6 (c) ). On the contrary, although the ripple of a transparency spectrum is canceled so that the variation or the rate of change of a lattice spacing is large, the amount of cutoff becomes small and a cutoff spectrum broadcloth-izes. This shows that there is range where the rate of change of a lattice spacing is suitable. As mentioned above, it turned out that the range where the rate of change of a lattice spacing is suitable is 0.05–3.0nm/mm.

[0032] Moreover, as compared with what starts the 1st and 2nd examples of a comparison with the optical waveguide mold filter concerning this example, a reflection factor is small. Therefore, it is not necessary to add optical components, such as an optical isolator. Furthermore, with the optical waveguide mold filter concerning this example, a transparency spectrum does not change with the propagation directions of propagating mode light a lot.

[0033] Next, the relation between whenever [ between the perpendicular direction to the plaid of a diffraction grating and the optical axis of an optical fiber / tilt-angle ], and a reflection property and a transparency property is explained. Drawing 11 is a graph which shows the relation between whenever [ tilt-angle ], a reflection property, and a transparency property. This drawing (b) shows the case where whenever [ tilt-angle ] is 6 times, this drawing (c) shows the case where whenever [ tilt-angle ] is 9 times, and this drawing (d) shows [ this drawing (a) shows the case where whenever / tilt-angle / is 3 times, ] the case where whenever [ tilt-angle ] is 11 degrees, and this drawing (e) shows the case where whenever [ tilt-angle ] is 12 degrees. The diffraction-grating length  $L$  is 5mm, and, as for each of these, a lattice spacing changes continuously from 535nm to 539nm. As shown in this drawing, even if it is the same fiber, it is possible by adjusting whenever [ tilt-angle ] to adjust transparency spectral characteristics.

[0034] Next, the operation gestalt of the optical fiber amplifier concerning this invention is explained. Drawing 12 is the outline block diagram of the optical fiber amplifier 1 concerning this operation gestalt. The optical fiber 43 for magnification, the optical coupler 44, and the optical waveguide mold filter 50 are formed between the incidence edge 41 and the outgoing radiation edge 42, and, as for the optical fiber amplifier 1, the excitation light source 46 is connected to the optical coupler 44 through the optical fiber 45.

[0035] Er element whose optical fibers 43 for magnification are rare earth elements is added, and the excitation light (for example, wavelength of 0.98 micrometers) outputted from the excitation light source 46 is supplied through an optical fiber 45 and the optical coupler 44. And the optical fiber 43 for magnification carries out optical amplification of the signal light of the wavelength the band of 1.55 micrometers inputted into the incidence edge 41, and outputs it. The optical waveguide mold filter 50 by which cascade connection was carried out to the optical fiber 43 for magnification through the optical coupler 44 equalizes the gain of the optical amplification to the signal light in the optical fiber 43 for magnification, and outputs signal light to the outgoing radiation edge 42. The optical waveguide mold filter 50 may be applied to the 1st or 2nd operation gestalt mentioned above, and cascade connection of two or more things may be carried out.

[0036] Drawing 13 is the explanatory view of the optical waveguide mold filter 50 in the optical fiber amplifier 1 concerning this operation gestalt. This optical waveguide mold filter 50 is formed in the optical fiber 21 in the 2nd operation gestalt, and the same optical fiber 51, the die length of the phase grating plate 30 about the longitudinal direction of an optical fiber 51 is

25mm, and a lattice spacing changes continuously from 1.064 micrometers to 1.084 micrometers. Moreover, there are most exposures of the ultraviolet radiation which carries out induction of the refractive index change in the field near 1.064 micrometers of lattice spacings; and a degree has them in the field near 1.084 micrometers of lattice spacings, and there are in the field between these. [ few ] [ many ]

[0037] Drawing 14 is a graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter 50, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering. This drawing (a) shows the transparency spectrum before re-covering, this drawing (b) shows the reflectance spectrum before re-covering, and this drawing (c) shows the transparency spectrum after re-covering. A ripple becomes small and the transparency spectrum before re-covering of the optical waveguide mold filter 50 ( drawing 14 (a)) has it so that this graph may show. [ smooth ] Moreover, a ripple is canceled further and the transparency spectrum after re-covering ( drawing 14 (c)) will become still more smooth. It is characteristic that there are two cutoff peaks by the transparency spectrum of this optical waveguide mold filter 50 especially.

[0038] Drawing 15 is a graph which shows the gain property of the optical fiber amplifier 1 concerning this operation gestalt. In this drawing, a continuous line shows the gain property at the time of removing the optical waveguide mold diffraction grating 50, i.e., the gain property of the optical fiber 43 for magnification. Moreover, a broken line shows the gain property of the optical fiber amplifier 1 containing the optical waveguide mold diffraction grating 50. drawing 14 and drawing 15 show -- as -- the gain property (continuous line in drawing 15 ) of the optical fiber 43 for magnification, and the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter 50 -- mutual -- abbreviation -- it is a reverse property. therefore, the gain property (broken line in drawing 15 ) of the optical fiber amplifier 1 synthesizing the gain property of the optical fiber 43 for magnification, and the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter 50 -- the bandwidth of about 20nm -- continuing -- abbreviation -- it will become flat and good gain identification is made.

[0039]

[Effect of the Invention] As mentioned above, according to the optical waveguide mold filter concerning this invention, a part of propagating mode light of the predetermined wavelength which has spread the core region of optical waveguide is changed into reflective leaky mode light in the diffraction grating toward which the perpendicular direction to plaid inclines to the optical axis of optical waveguide as explained to the detail. Even if it may reflect in the periphery interface of a clad field and this reflective leaky mode light may return to a diffraction grating, since the lattice spacing of a diffraction grating is changing to the longitudinal direction of optical waveguide, it is not again changed into propagating mode light. That is, Fabry-Perot resonance is not carried out, the ripple in a transparency spectrum becomes small, it will become smooth, and a barrier property is excellent. Since the diffraction grating is formed not only in the core region of optical waveguide but in the clad field, the effectiveness from which the propagating mode light of predetermined wavelength is changed into leaky mode light becomes large, and the rate of cutoff in the predetermined wavelength becomes large.

[0040] Moreover, according to the optical waveguide mold filter whose rate of change of the lattice spacing of a diffraction grating is 0.05–3.0nm/mm, while the ripple in a transparency spectrum is fully canceled, the amount of cutoff in predetermined wavelength becomes large. Moreover, according to the optical waveguide mold filter with which the perimeter of optical waveguide is covered by index matching material, it is canceled further and the ripple in a transparency spectrum will become smooth. Furthermore, according to the optical waveguide mold filter with which it comes to carry out cascade connection of any two or more things among these, a desired transparency spectrum is obtained.

[0041] Moreover, according to the optical fiber amplifier concerning this invention, optical amplification of the inputted signal light is carried out with the optical fiber for magnification, and gain identification is carried out with the optical waveguide mold filter concerning this invention, and it is outputted. therefore, the gain property of this optical fiber amplifier -- a broadband -- continuing -- abbreviation -- it will become flat and good gain identification will be made.

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

## [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the explanatory view of the optical waveguide mold filter concerning the 1st operation gestalt.

[Drawing 2] It is the explanatory view of the production approach of the optical waveguide mold filter concerning the 1st operation gestalt.

[Drawing 3] It is the explanatory view of the optical waveguide mold filter concerning the 2nd operation gestalt.

[Drawing 4] It is the graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 1st example of a comparison, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering.

[Drawing 5] It is the graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 2nd example of a comparison, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering.

[Drawing 6] It is the graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 1st example, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering.

[Drawing 7] It is the graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 2nd example, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering.

[Drawing 8] It is the graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 3rd example, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering.

[Drawing 9] It is the graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 4th example, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering.

[Drawing 10] It is the graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter concerning the 5th example, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering.

[Drawing 11] It is the graph which shows the relation between whenever [ tilt-angle ], a reflection property, and a transparency property.

[Drawing 12] It is the outline block diagram of the optical fiber amplifier concerning this operation gestalt.

[Drawing 13] It is the explanatory view of the optical waveguide mold filter in the optical fiber amplifier concerning this operation gestalt.

[Drawing 14] It is the graph which shows the transparency spectrum of the optical waveguide mold filter in the optical fiber amplifier concerning this operation gestalt, a reflectance spectrum, and the transparency spectrum after re-covering.

[Drawing 15] It is the graph which shows the gain property of the optical fiber amplifier concerning this operation gestalt.

## [Description of Notations]

10 -- optical waveguide mold filter, 11 -- optical fiber, and 12 -- a diffraction grating, 13 -- core region, 14 -- clad field, and 20 -- an optical waveguide mold filter, 21 -- optical fiber, 22 -- diffraction grating, and 23 -- a core region, 24 A--germanium addition clad field, 24 B-- germanium non-adding clad field, 30 -- phase grating plate, 41 -- incidence edge, and 42 -- an

outgoing radiation edge, the optical fiber for 43 -- magnification, 44 -- light coupler, and 45 --  
an optical fiber, 46 -- [redacted] station light source, and 50 -- optical waveguide mold filter

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

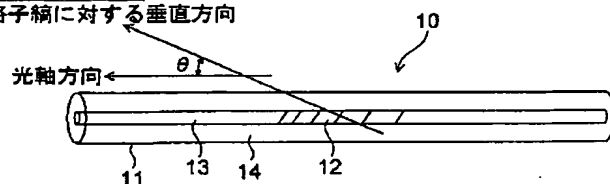
JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

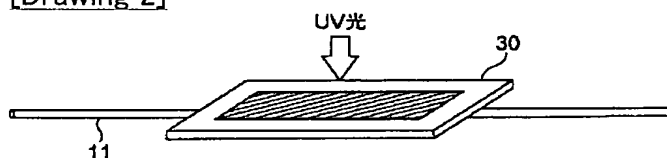
## DRAWINGS

[Drawing 1]

格子縞に対する垂直方向

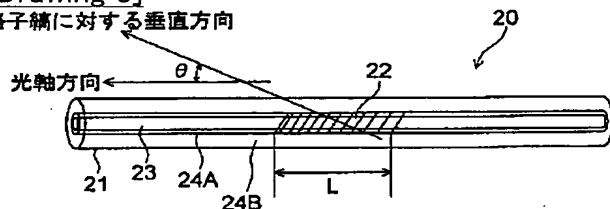


[Drawing 2]

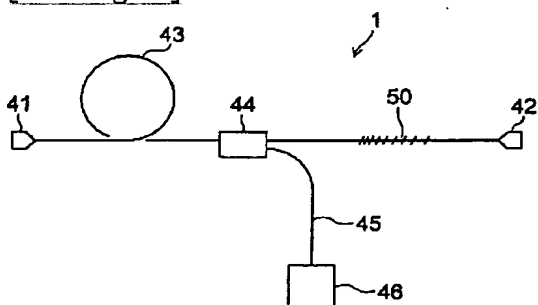


[Drawing 3]

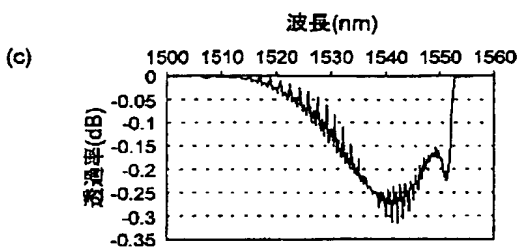
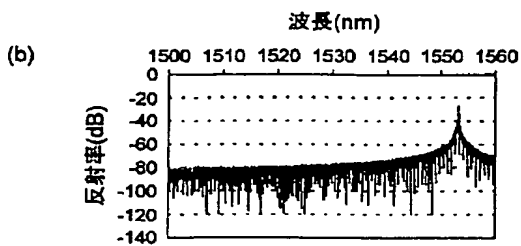
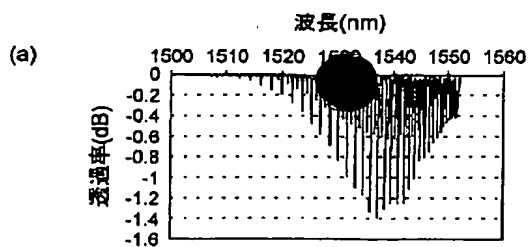
格子縞に対する垂直方向



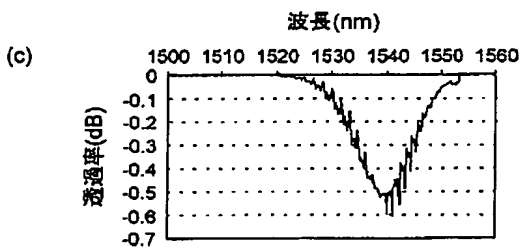
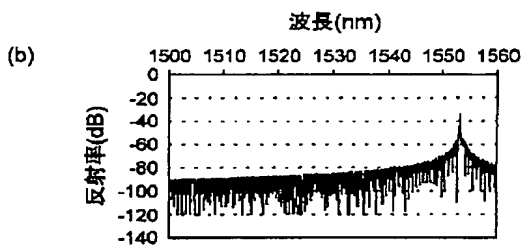
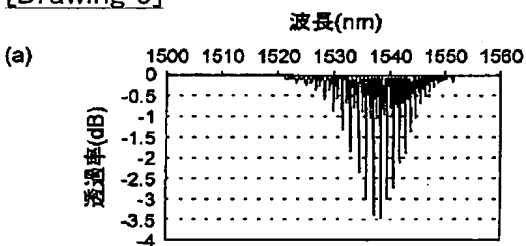
[Drawing 12]



[Drawing 4]

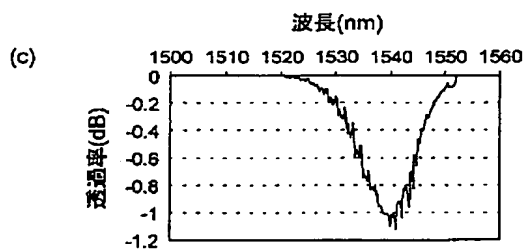
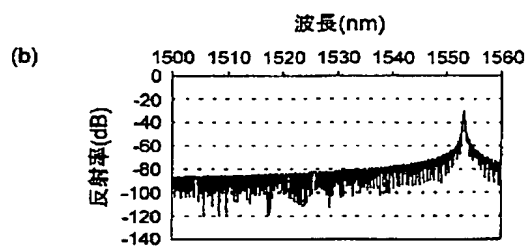
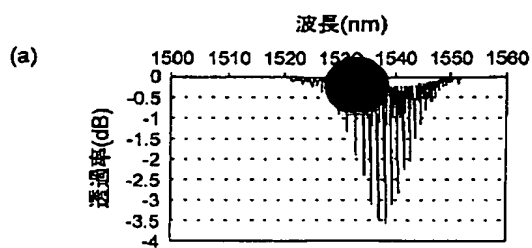


[Drawing 5]

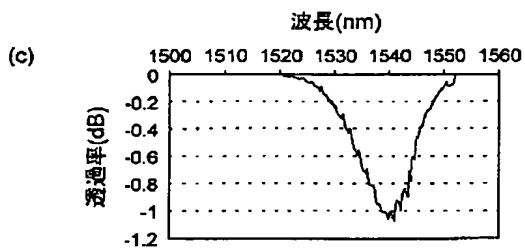
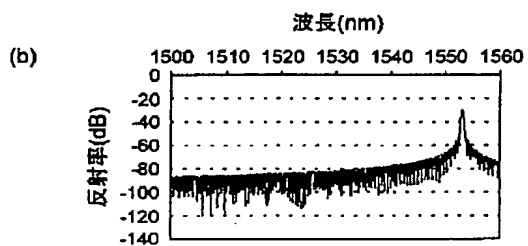
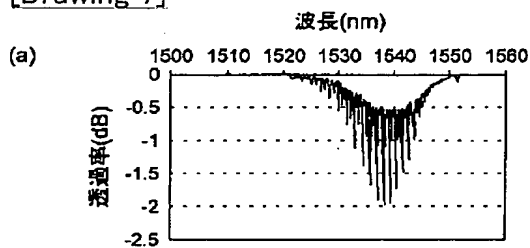


[Drawing 6]

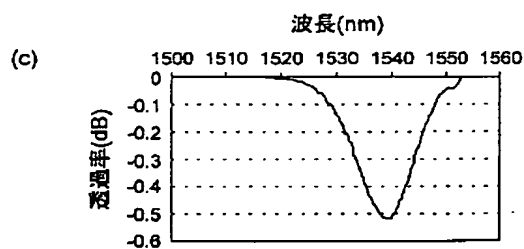
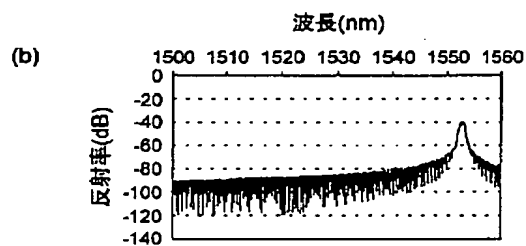
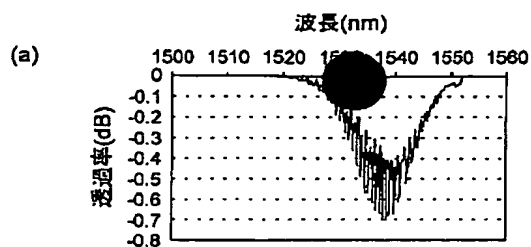




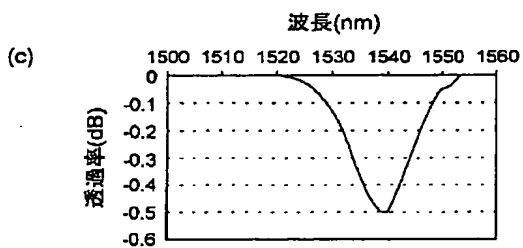
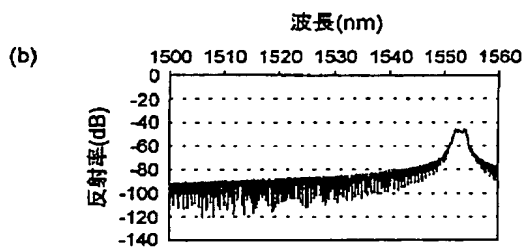
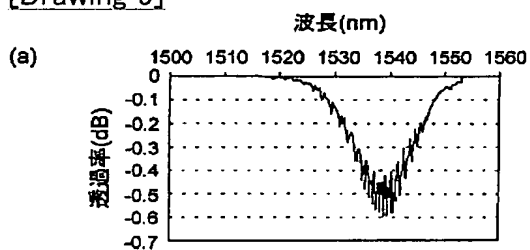
[Drawing 7]



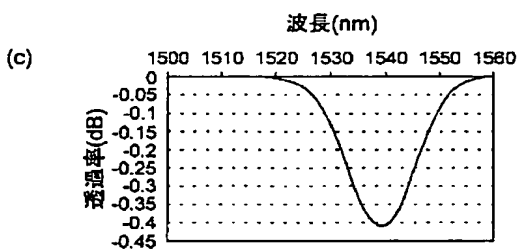
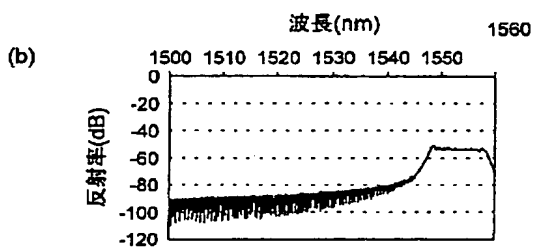
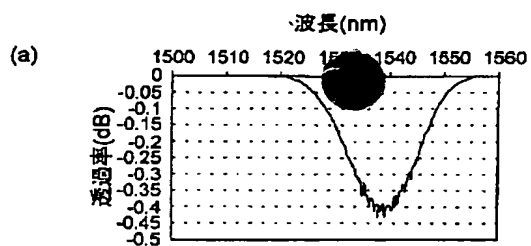
[Drawing 8]



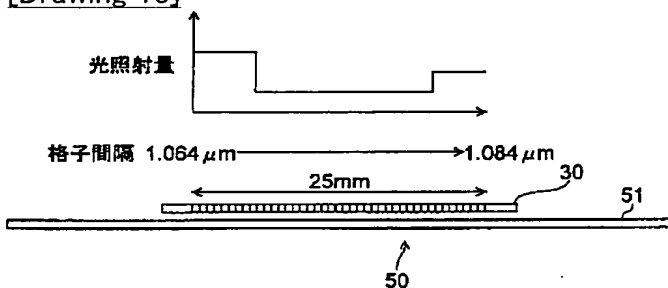
[Drawing 9]



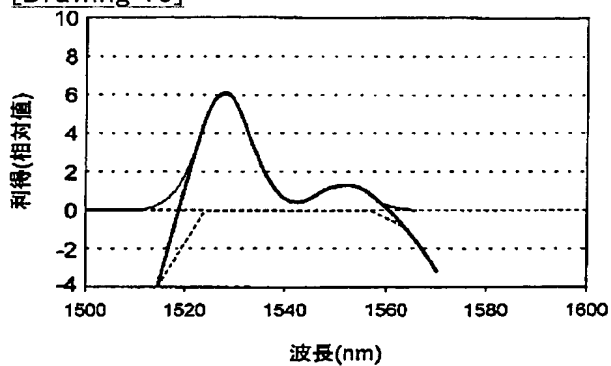
[Drawing 10]



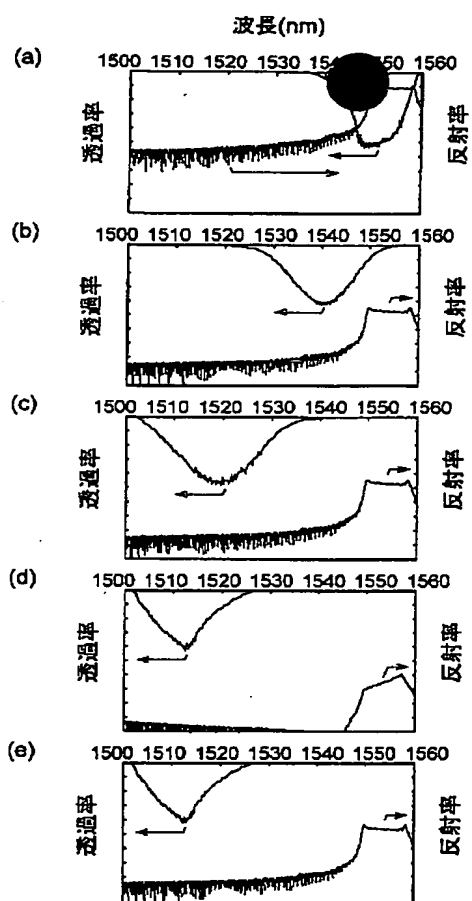
[Drawing 13]



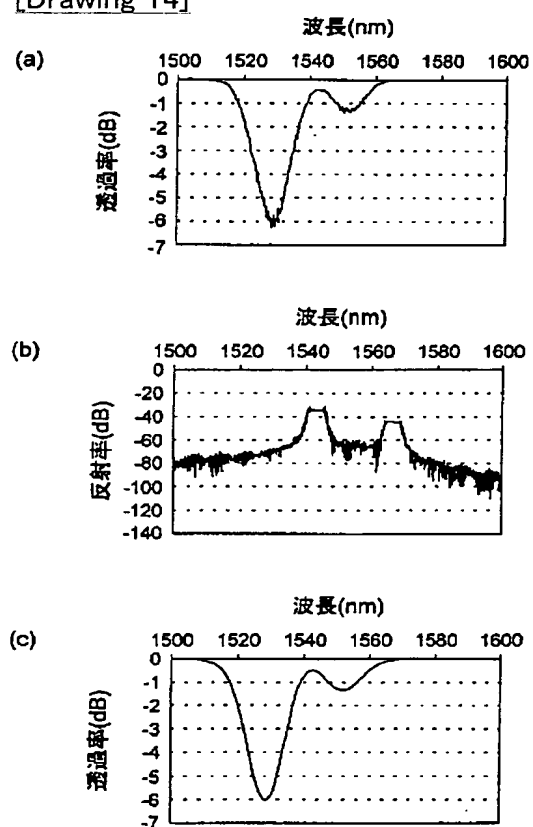
[Drawing 15]



[Drawing 11]



[Drawing 14]



[Translation done.]